

УДК 004.925

Е.Е. Федоров, д-р техн. наук, доц.,

М. Юнис, аспирант

В.И. Костин, ст. препод.

И.В. Ярош, ст. препод.

Донецкий национальный технический университет, г.Красноармейск

fedorovee75@mail.ru

Определение коэффициента максимального различия в цвете и порогового значения интенсивности цвета для метода повышения производительности формирования трехмерных изображений

В статье был предложен способ расчета коэффициента максимального различия в цвете, ориентированный на цветовую систему RGB. На основе численного исследования были выбраны пороговые значения интенсивностей красного, зеленого и голубого цветов. Были установлены взаимосвязи между выбранными пороговыми значениями интенсивностей цветов и коэффициентами максимального различия в цвете. Определены коэффициенты конкордации, которые показали близость оценок экспертов, анализирующих пороговые значения красного, зеленого и голубого цветов. Вычисленные коэффициенты максимального различия в цвете и пороговые значения интенсивности цвета могут использоваться в компьютерных системах для повышения качества формирования трехмерных изображений.

Ключевые слова: коэффициент максимального различия в цвете, пороговое значение интенсивности цвета, компьютерная система формирования трехмерных изображений, коэффициент конкордации.

Введение

Более 50 лет развития систем визуализации привели к значительному разнообразию как алгоритмических решений. Графические программные системы являются высокопроизводительными и, в то же время, достаточно дорогими. В связи с этим актуальной задачей на современном этапе является разработка / адаптация алгоритмов формирования трехмерных изображений, т.е. достижение требуемого качества путем минимальных затрат. Необходимость обработки графических данных первоначально возникла в системах визуализации для авиационных и космических комплексов. Такие работы велись в Сибирском отделении АН СССР коллективом под руководством А.М. Ковалева [1] и Б.С. Долговесова [2-3], в университете штата Юта США [4, 5], компанией Silicon Graphics под руководством Clark J. [5]. В Украине разработкой методов формирования изображений для тренажеров транспортных средств, использующих как различные методы формирования трехмерных изображений, занимаются ученые из Донецкого национального технического университета [6, 7] и Винницкого национального технического университета [8-10].

Метод растеризации (например, метод Гуро или Фонга) [11, 12], который использует заданные графических объектов полигональной сет-

кой, имеет высокую производительность, но не обеспечивает достаточной реалистичности из-за аппроксимационных упрощений, поэтому сегодня ведущие графические фирмы делают ставку на метод обратной трассировки лучей [12, 13] как базовый построения трёхмерных сцен значительно большей реалистичности. В случае если при формировании изображения использовано объемное (воксельное) представление данных, метод трассировки лучей позволяет формировать объемное изображение. Так как метод трассировки лучей требует больших вычислительных затрат, то в последние годы разрабатываются алгоритмические решения, направленные на обработку сформированных трехмерных изображений с целью повышения их разрешения, в том числе путем интерполяции [14, 15].

Данная статья посвящена определению коэффициента максимального различия в цвете и порогового значения интенсивности цвета для методов формирования трехмерных изображений, ориентированных на уменьшение времени формирования изображения при реализации метода обратной трассировки лучей [16].

Актуальность работы определяется постоянным увеличением сложности формируемых сцен, совершенствованием методов в области создания графических систем, а также стремлением уменьшить количество выполняемых операций без потери качества формируемого изоб-

раження.

Описание

Целью работы является определение коэффициента максимального различия в цвете и порогового значения интенсивности цвета, используемых в методе повышения производительности формирования трехмерных изображений.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Разработать способ расчета коэффициента максимального различия в цвете.
2. Выбрать пороговые значения интенсивностей цветов на основе численного исследования.
3. Установить взаимосвязь между выбранными пороговыми значениями интенсивностей цветов и коэффициентами максимального различия в цвете.
4. Определить коэффициент конкордации для проверки близости оценок экспертов.

1. Расчет коэффициента максимального различия в цвете

Расчет коэффициента максимального различия в цвете K_{mrc} для n -битных компонент RGB осуществляется в следующем виде

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} g\left(\frac{\Delta R}{2^n - 1}\right) \\ g\left(\frac{\Delta G}{2^n - 1}\right) \\ g\left(\frac{\Delta B}{2^n - 1}\right) \end{bmatrix},$$

$$T = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix},$$

$$g(K) = \begin{cases} \left(\frac{K + 0.055}{1.055}\right)^{2.2}, & K > 0.04045 \\ \frac{K}{12.92}, & K \leq 0.04045 \end{cases},$$

$$\Delta L^* = 116 \cdot f\left(\frac{\Delta Y}{1}\right) - 16,$$

$$\Delta a^* = 500 \cdot \left(f\left(\frac{\Delta X}{0.9505}\right) - f\left(\frac{\Delta Y}{1}\right) \right),$$

$$\Delta b^* = 200 \cdot \left(f\left(\frac{\Delta Y}{1}\right) - f\left(\frac{\Delta Z}{1.089}\right) \right),$$

$$f(k) = \begin{cases} \sqrt[3]{k}, & k > 0.008856 \\ 7.787k + \frac{16}{116}, & k \leq 0.008856 \end{cases},$$

$$K_{mrc} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}.$$

2. Выбор пороговых значений интенсивностей цветов

При формировании реалистических изображений используется цветовая система TrueColor. Для задания интенсивности цвета используется 256 уровней для каждой из трёх компонент модели RGB: красного (R), зелёного (G) и синего (B), что в результате даёт 16777216 (2^{24}) различных цветов. Человеческий глаз не в состоянии воспринять такое количество.

Исследования показали, что на видимом участке спектра глаз человека способен различать при благоприятных условиях около 100 оттенков по цветовому фону. Натренированный наблюдатель различает по насыщенности около 25, по светлоте от 64 при высокой освещенности до 20 при пониженной.

Увеличение качества формирования графических изображений должно ограничиваться визуальными возможностями пользователя. Поэтому для высокореалистических изображений имеется возможность незначительного уменьшения качества формирования графических изображений до уровня визуальной неразличимости эталонного изображения с модифицированным.

В статье предлагается для повышения производительности формирования графических сцен использовать интерполирование интенсивности цвета между выделенными точками, в которых значение интенсивности рассчитывают точно. С этой точки зрения важным вопросом является определение пороговых значений интенсивностей цвета, которые не различаются визуально оператором.

В настоящее время наиболее распространенным и самым надежным способом определения качества изображений является субъективная экспертиза [17]. В некоторых случаях в качестве экспертов привлекают наблюдателей-неспециалистов. Их оценки определяют качество изображения именно так, как его воспринимает «средний» наблюдатель. Кроме того, проводятся опыты со специалистами, имеющими опыт обработки изображений, от которых следует ожидать более обоснованных оценок качества. Предполагается, что опытные наблюдатели замечают небольшие погрешности изображения, которые неспециалист может проглядеть.

Наиболее распространенным методом субъективной экспертизы является ранжирование [17]. Его достоинствами являются простота, относительно малая стоимость, возможность одновременного охвата больших групп конечных пользователей, возможность получения количе-

ственных результатов на основе анализа экспертных данных.

В статье эксперту предлагается присвоить числовые ранги каждому пороговому значению интенсивности цвета. Ранг, равный единице, приписывается наиболее точному, по мнению эксперта, пороговому значению, а ранг, равный двум, присваивается следующей по точности пороговому значению и т.д. Для повышения степени объективности экспертной оценки проводят анкетирование группы экспертов. В случае, если ранжирование производится несколькими экспертами, то наивысший ранг присваивается пороговому значению, получившему наименьшую сумму рангов, и наоборот, пороговое значение, собравшее наибольшую сумму рангов, получает самый низкий ранг.

Тестовые фигуры приведены на рис.1-3.

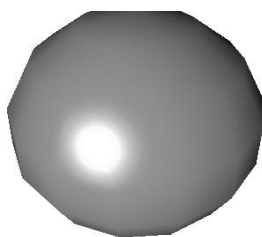


Рисунок 1 – Тестовая фигура сфера



Рисунок 2 – Тестовая фигура чайник

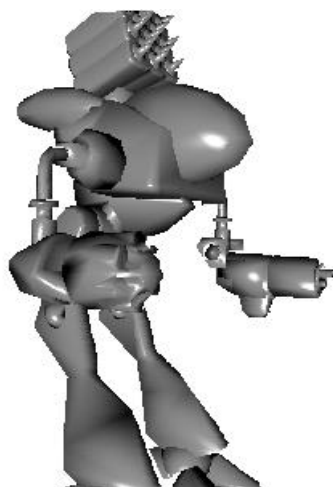


Рисунок 3 – Тестовая фигура робот

Пороговые значения $\Delta R, \Delta G, \Delta B$ цветов R, G, B и соответствующий им ранг, присвоенный экспертами, для третьей тестовой фигуры приведены в табл.1-2.

Таблица 1 – Оцененное экспертами пороговое значение и соответствующий ему ранг для красного цвета третьей тестовой фигуры

№ эксперта	Ранг r_{ij} для порогового значения ΔR					
	3	4	5	6	7	8
1	3	3	3	3	3	6
2	3	3	3	3	3	6
3	3	3	3	3	3	6
4	3	3	3	3	3	6
5	3	3	3	3	3	6
6	3	3	3	3	3	6
7	3	3	3	3	3	6
8	3	3	3	3	3	6
9	3	3	3	3	3	6
10	3	3	3	3	3	6
11	3	3	3	3	3	6
12	3	3	3	3	3	6
13	3	3	3	3	3	6
14	3	3	3	3	3	6
15	3	3	3	3	3	6
16	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
17	3	3	3	3	3	6
18	3	3	3	3	3	6
19	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
20	3	3	3	3	3	6
21	3	3	3	3	3	6
22	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

23	3	3	3	3	3	6
24	3	3	3	3	3	6
25	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Таблиця 2 – Оцененное экспертами пороговое значение и соответствующий ему ранг для зеленого цвета третьей тестовой фигуры

№ эксперта	Ранг r_{ij} для порогового значения ΔG					
	3	4	5	6	7	8
1	1.5	1.5	3	4	5	6
2	1	2	3	4	5	6
3	1	2	3	4	5	6
4	1.5	1.5	3	4	5	6
5	1	2	3	4	5	6
6	1	2	3	4	5	6
7	1.5	1.5	3	4	5	6
8	1	2	3	4	5	6
9	1	2	3	4	5	6
10	1.5	1.5	3	4	5	6
11	1	2	3	4	5	6
12	1	2	3	4	5	6
13	1.5	1.5	3	4	5	6
14	1	2	3	4	5	6
15	1	2	3	4	5	6
16	2	2	2	4	5	6
17	1	2	3	4	5	6
18	1	2	3	4	5	6
19	2	2	2	4	5	6
20	1	2	3	4	5	6
21	1	2	3	4	5	6
22	2	2	2	4	5	6

23	1	2	3	4	5	6
24	1	2	3	4	5	6
25	2	2	2	4	5	6

Таблиця 3 – Оцененное экспертами пороговое значение и соответствующий ему ранг для голубого цвета третьей тестовой фигуры

№ эксперта	Ранг r_{ij} для порогового значения ΔB					
	3	4	5	6	7	8
1	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
2	2	2	2	4	5	6
3	2	2	2	4	5	6
4	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
5	2	2	2	4	5	6
6	2	2	2	4	5	6
7	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
8	2	2	2	4	5	6
9	2	2	2	4	5	6
10	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
11	2	2	2	4	5	6
12	2	2	2	4	5	6
13	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
14	2	2	2	4	5	6
15	2	2	2	4	5	6
16	3	3	3	3	3	6
17	2	2	2	4	5	6
18	2	2	2	4	5	6
19	3	3	3	3	3	6
20	2	2	2	4	5	6
21	2	2	2	4	5	6
22	3	3	3	3	3	6

23	2	2	2	4	5	6
24	2	2	2	4	5	6
25	3	3	3	3	3	6

3. Установление взаимосвязи между выбранными пороговыми значениями интенсивностей цветов и коэффициентами максимального различия в цвете

Пороговые значения $\Delta R, \Delta G, \Delta B$ цветов R, G, B и соответствующие им коэффициенты максимального различия в цвете (K_{mrc}) для третьей тестовой фигуры приведены в табл.4-6 соответственно.

Таблица 4 – Коэффициент максимального различия в цвете (K_{mrc}) и пороговое значение (ΔR)

для третьей тестовой фигуры

K_{mrc}	ΔR
0.8	3
1.1	4
1.4	5
1.7	6
2.0	7
2.3	8

Таблица 5 – Коэффициент максимального различия в цвете (K_{mrc}) и пороговое значение (ΔG)

для третьей тестовой фигуры

K_{mrc}	ΔG
1.6	3
2.1	4
2.7	5
3.2	6
3.7	7
4.2	8

Таблица 6 – Коэффициент максимального различия в цвете (K_{mrc}) и пороговое значение (ΔB)

для третьей тестовой фигуры

K_{mrc}	ΔB
1.2	3
1.6	4
2.0	5
2.4	6
2.8	7
3.2	8

Согласно проведенным исследованиям для первой тестовой фигуры сфера для красного

цвета (R) были выбраны $K_{mrc}=4.8$ и $\Delta R=17$, для зеленого цвета (G) были выбраны $K_{mrc}=4.7$ и $\Delta G=9$, для голубого цвета (B) были выбраны $K_{mrc}=4.8$ и $\Delta B=12$.

Согласно проведенным исследованиям для второй тестовой фигуры сфера для красного цвета (R) были выбраны $K_{mrc}=3.4$ и $\Delta R=12$, для зеленого цвета (G) были выбраны $K_{mrc}=3.2$ и $\Delta G=6$, для голубого цвета (B) были выбраны $K_{mrc}=3.2$ и $\Delta B=8$.

Согласно проведенным исследованиям для третьей тестовой фигуры робот для красного цвета (R) были выбраны $K_{mrc}=2.0$ и $\Delta R=7$, для зеленого цвета (G) были выбраны $K_{mrc}=1.6$ и $\Delta G=3$, для голубого цвета (B) были выбраны $K_{mrc}=2.0$ и $\Delta B=5$.

Следует отметить, что согласно [18] в случае цветов R, G, B различия в цвете наиболее заметны.

Таким образом, наименьшим пороговым значением является 3, а минимальным значением коэффициента максимального различия в цвете является 1.6.

4. Определение коэффициента конкордации для проверки близости оценок экспертов

При анализе оценок, полученных от экспертов, выявляется конкордация – согласованность их мнений по нескольким пороговым значениям. Для этого используют коэффициент конкордации, который является числовым критерием согласованности мнений экспертов.

Коэффициент конкордации определяется по формуле Кендалла, учитывающей одинаковые ранги, в виде

$$V = \frac{12 \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m r_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right)^2}{nm^2(n^2-1) - m \sum_1^m (t^3 - t)}$$

где r_{ij} - ранг соответствующий j -му пороговому значению, данный i -м экспертом,

m - количество экспертов (в данном случае 25),

n - количество пороговых значений (в данном случае 6),

t - число одинаковых рангов по каждому эксперту.

Вычисленный коэффициент конкордации V для всех трех цветов R, G, B и для всех трех

тестовых фигур превышает 0.8, т.е. наблюдается близость оценок экспертов.

Заключение

В работе был предложен способ расчета коэффициента максимального различия в цвете, ориентированный на цветовую систему RGB. На основе численного исследования были выбраны пороговые значения интенсивностей красного, зеленого и голубого цветов. Были установлены взаимосвязи между выбранными пороговыми значениями интенсивностей цветов и коэффициентами максимального различия в цвете. Было определено, что наименьшим пороговым значе-

нием значения интенсивности цвета является 3, а минимальным значением коэффициента максимального различия в цвете является 1.6. Определены коэффициенты конкордации, которые показали близость оценок экспертов, анализирующих пороговые значения красного, зеленого и голубого цветов.

Вычисленные в статье коэффициенты максимального различия в цвете и пороговые значения интенсивности цвета могут использоваться в интеллектуальных компьютерных системах для решения задач, связанных с повышением производительности формирования трехмерных изображений.

Список использованной литературы

1. Ковалев А.М. Машинный синтез визуальной обстановки / А.М. Ковалев, Э.А. Талныкин // Автометрия. – №4. – 1984. – С. 67-84.
2. Архитектурные особенности систем визуализации реального времени на основе сигнальных процессоров / С.И. Вяткин, О.Ю. Гимаутдинов, Б.С. Долговесов и др. // Автометрия. – 1999. – № 1. – С. 32-36.
3. Вяткин С.И. Растрезационные методики и архитектуры систем визуализации реального времени / С.И. Вяткин, Б.С. Долговесов, В.М. Фомичев // Труды 17-й Междунар. конф. "Графикон-2007", 2007. – С. 164-169.
4. Warwick G. Making the Most of Simulation // Flight International. - 1988. - 12 March. - P.6.
5. Clark J. The Geometry Engine: A VLSI Geometry System for Graphics // SIGGRAPH. - 1982. – P. 127-133.
6. Башков Е.А. Исследование эффективности реализации синтеза изображений рельефов алгоритмом goat на параллельных вычислительных системах / Е.А. Башков, С.А. Зори // Известия Южного федерального университета. - 2013. - № 5 (142). - С. 46-51.
7. Башков Е.А. Реалистичная визуализация трехмерных объектов и сцен с использованием технологий объемного отображения / Е.А. Башков, С.А. Зори // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С.133-137.
8. Романюк О.Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів: моногр. / О.Н. Романюк, А.В. Чорний. – Вінниця : УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. – 190 с.
9. Романюк О.Н. Ефективна модель для відтворення спекулярної складової кольору / О.Н. Романюк // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць. – 2007. – Випуск 2 (20). – С. 115-120.
10. Романюк О.Н. Спрощення розрахунків в процесі тонування високодеталізованих полігональних поверхонь / О.Н. Романюк, М.Д. Обідник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 1. – С. 182–186.
11. Foley J., Dam A. Computer Graphics. Principles and practice / J. Foley, A. Dam. - 2nd ed. In C. - AWPC, 1997. – 1175 pp.
12. Палташев Т.Т. Технология визуализации реалистичных изображений / Т.Т. Палташев, С.И. Климина // Открытые системы. – 1994. – № 7. – С. 23-40.
13. Палташев Т.Т. Растрирование и распределенная обработка в системах генерации реалистических изображений / Т.Т. Палташев, С.И. Климина // Зарубежная радиоэлектроника. – 1992. – № 11. – С. 3-22.
14. Mitchell D.P. Generating antialiased images at low sampling densities // In Computer Graphics: Proceedings of SIGGRAPH - 87, 1987. - Vol. 21. - PP.65–72.
15. Pascal Getreuer. Linear Methods for Image Interpolation // Image Processing On Line. - № 1. – 2011. - http://dx.doi.org/10.5201/ipol.2011.g_lmii
16. Мальчева Р.В. Исследование влияния шага трассирования лучей и коэффициента различия в цвете на время выполнения формирования изображения / Р.В. Мальчева, М. Юнис, А. Джамиль // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 14(188). – С. 195-201.

17. Snyder H.L. Image quality: Measures and visual performance // Flat-Panel Displays and CRTs / Tannas L.E., Jr. Ed. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. – P. 70-90.
18. Bangay S. Methods of Reducing the Visibility of Mach Bands during Gouraud Shading // Technical Report, Computer Science Department, Rhodes University, 2002. – 10 p.

Надійшла до редакції 19.01.2016

Є.С. ФЕДОРОВ, М. ЮНІС, В.І. КОСТИН, І.В. ЯРОШ

Донецький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА МАКСИМАЛЬНОЇ ВІДМІННОСТІ В КОЛЬОРІ І ПОРОГОВОГО ЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ КОЛЬОРУ ДЛЯ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ФОРМУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У статті був запропонований спосіб розрахунку коефіцієнта максимальної відмінності в кольорі, орієнтований на колірну систему RGB. На основі чисельного дослідження були обрані порогові значення інтенсивностей червоного, зеленого і блакитного кольорів. Були встановлені взаємозв'язки між обраними граничними значеннями інтенсивностей квітів і коефіцієнтами максимальної відмінності в кольорі. Визначено коефіцієнти конкордації, які показали близькість оцінок експертів, які аналізують порогові значення червоного, зеленого і блакитного кольорів. Обчислені коефіцієнти максимальної відмінності в кольорі і порогові значення інтенсивності кольору можуть використовуватися в комп'ютерних системах для підвищення якості формування тривимірних зображень.

Ключові слова: коефіцієнт максимального розходження в кольорі, порогове значення інтенсивності кольору, комп'ютерна система формування тривимірних зображень, коефіцієнт конкордації.

E. FEDOROV, H. YUNIS, V. KOSTIN, I. YAROSH

Donetsk National Technical University

DETERMINATION OF THE MAXIMUM DIFFERENCE IN COLOR AND COLOR INTENSITY OF THE THRESHOLD VALUE METHOD FOR INCREASING PRODUCTIVITY OF FORMING THREE-DIMENSIONAL IMAGES

More than 50 years of imaging systems have led to a considerable diversity as algorithmic solutions. Graphic software systems are high and, at the same time, quite expensive. In this connection, an urgent task for the present stage is the development / adaptation algorithms forming three-dimensional images, that is achieving the desired quality by minimizing cost. The need for processing graphic data originally arose in imaging systems for the aviation and space systems. rasterization method (for example, Gouraud or Phong method), which uses the reference graphics polygonal mesh has a high performance, but does not provide sufficient realism because of approximation simplifications, so today, the leading graphics company are betting on the inverse ray tracing as the basis building three-dimensional much more realistic scenes. If the image is used in the formation of three-dimensional (voxel) data presentation, ray tracing allows you to create three-dimensional image. Since ray tracing method requires a large computational costs, in recent years developed algorithmic solutions aimed at processing the generated three-dimensional images to improve their resolution, including by interpolation. This article deals with the definition of the maximum coefficient differences in color and color intensity of the threshold value for the formation of three-dimensional imaging techniques for the reduction of the time of formation of the image in the implementation of the inverse ray tracing. The paper proposed a method of calculating the maximum coefficient differences in color, color RGB-oriented system. In the article the expert proposed to assign numerical grades for each threshold color intensity. Rank is equal to one, is attributed to the most accurate, according to the expert, the threshold value and the rank equal to two, is assigned to the following accuracy threshold, etc. To increase the objectivity of peer review carried out a survey of the expert group. If the ranking is made by several experts, the highest rank is assigned to the threshold value with the lowest sum of ranks, and vice versa, threshold value, collect the greatest amount of ranks, receives the lowest rank. On the basis of expert assessments were selected threshold intensities of red, green and blue colors. It was established the relationship between the selected thresholds color intensities and coefficients maximum color differences. It was determined that the lowest threshold color intensity value is 3, and the minimum value of the maximum coefficient in the color difference is 1.6. Coefficient of concordance was determined, which showed the proximity of expert assessments, analyzing the threshold values of red, green and blue colors. The calculated ratios in the article of maximum difference in color and color intensity of the threshold values can be used in intelligent computer systems to meet the challenges associated with an increase in productivity of formation of three-dimensional images.

Keywords: maximum coefficient of differences in color, color intensity threshold, the computer system of formation of three-dimensional image, coefficient of concordance.